

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní – Institut dopravy
Ústav letecké dopravy

Nové trendy v konstrukci a využití vírníků

New Trends in the Gyroplane's Design
and Utilization

Bakalářská práce

Student: Marek Sassik

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Sassik**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R036 Technologie letecké dopravy
Téma: **Nové trendy v konstrukci a využití vírníků**
New Trends in the Gyroplane's Design and Utilization

Zásady pro vypracování:

1. Historie letadel typu vírník
2. Přehled aktuálně vyráběných vírníků v Evropě a ve světě
3. Statistické zpracování základních parametrů dvousedadlových vírníků
4. Možnosti dalšího konstrukčního vývoje vírníků
5. Nové možnosti využití vírníků v civilním letectví

DP musí v rámci úvodu obsahovat kapitolu se stanovením cílů práce a v závěru zhodnocení dosažených cílů.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. <http://www.vrtulnik.cz/gyro/gyro.htm>
2. <http://www.rotorcraft.com.au/links/whatspopular/views/>
3. <http://www.caa.co.uk/application.aspx?catid=33&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=4184>
4. <http://www.gyroplanepassion.com/FlightTraining.html>
5. Další veřejně dostupné zdroje

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.



.....

V Ostravě dne 21. Května 2012

Marek Sassik

Prohlašuji, že

- celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- rovněž souhlasím s tím, že kompletní text bakalářské práce bude publikován v materiálech zajišťujících propagaci VŠB-TUO, vč. příloh časopisů, sborníků z konferencí, seminářů apod. Publikování textu práce bude provedeno v omezeném rozlišení, které bude vhodné pouze pro čtení a neumožní tedy případnou transformaci textu a dalších součástí práce do podoby potřebné pro jejich další elektronické zpracování.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 21. Května 2012

Marek Sassik

Kobeřice 675

747 27



.....

Poděkování

Především chci poděkovat panu doc. Ing. Vladimíru Tichavskému, CSc. za vedení této bakalářské práce, za cenné rady a připomínky a za ochotu spolupráce. Můj dík patří také rodině, která mě podpořila během studia ve všech směrech.

Anotace

SASSIK, M. Nové trendy v konstrukci a využití vírníků, Ostrava – Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012, vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

Obsah této bakalářské práce je zaměřen na aktuálně vyráběné vírníky v Evropě a ve světě. Úvodní kapitola seznamuje čtenáře s historií vírníků ve světě a u nás. Následující kapitoly pojednávají o technických specifikacích aktuálně vyráběných vírníků, statistickém zpracování vybraných parametrů dvousedadlových vírníků a dalších možnostech konstrukčního vývoje vírníků. Poslední kapitola této práce je zaměřena na nové možnosti využití vírníků v civilním letectví.

Klíčová slova: vírník, autogyro, průměr, směrodatná odchylka, High profile gyro

Annotation

SASSIK, M. New Trends in the Gyroplane's Design and Utilization, Ostrava – Institute of transport, Faculty of mechanical engineering, VSB – Technical university of Ostrava, 2012, thesis head: doc. Ing. Vladimír Tichavský, CSc.

The content of this thesis is dedicated to gyroplanes which are currently manufactured in Europe and in the world. The introductory chapter introduces the reader to the history of gyroplanes in the world and in the Czech Republic. Following chapters are dedicated to technical specifications of currently manufactured gyroplanes, statistical processing of selected parameters two-seat gyroplanes and next options of gyroplane's construction development. The last one chapter of this thesis is dedicated to a new options of gyroplanes's application in civil aviation.

Keywords: autogyro, autogyro, mean, standard deviation, high profile gyro

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	9
ÚVOD	10
1 HISTORIE LETADEL TYPU VÍRNÍK	11
2 PŘEHLED AKTUÁLNĚ VYRÁBĚNÝCH VÍRNÍKŮ V EVROPĚ A VE SVĚTĚ	13
2.1 Arrow copter GmbH	13
2.1.1 Arrow-Copter AC10	13
2.2 Groen Brothers Aviation.....	14
2.2.1 Sparrowhawk III	14
2.2.2 Hawk 4 a Hawk 5	15
2.3 Rotortec GmbH.....	16
2.3.1 Cloud Dancer I	16
2.3.2 Cloud Dancer II	16
2.4 Celier Aviation.....	17
2.4.1 Kiss	17
2.4.2 Xenon	18
2.5 AutoGyro GmbH	19
2.5.1 MTOsport	20
2.5.2 Calidus.....	20
2.5.3 Cavalon.....	21
2.6 GT Gyroplanes Pty Ltd.....	22
2.6.1 Kruza	22
2.7 ELA Aviation Pty Ltd.....	23
2.7.1 ELA 07	23
2.7.2 ELA 08	24
2.8 Chayair.....	25
2.8.1 Sycamore Mk1 su	25
2.8.2 Sycamore Mk2000 su	26
2.9 Magni Gyro.....	27
2.9.1 M14 Scout	27
2.9.2 M16 Tandem Trainer.....	28
2.9.3 M22 Voyager.....	29
2.9.4 M24 Orion	30

2.10	Rotary Air Force Marketing Inc	31
2.10.1	RAF 2000 GTX SE FI EJ25	31
2.11	Ultimate Flying Options	32
2.11.1	UFO HeliThruster.....	32
2.12	Bauer Avion.....	33
2.12.1	BAD 12.....	34
3	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ	
	DVOUSEDADLOVÝCH VÍRNÍKŮ	35
3.1	Plošné zatížení rotoru.....	36
3.2	Výkon.....	36
3.3	Cestovní rychlost	37
3.4	Prázdná hmotnost.....	38
3.5	Max. vzletová hmotnost.....	38
4	MOŽNOSTI DALŠÍHO KONSTRUKČNÍHO VÝVOJE VÍRNÍKŮ	40
5	NOVÉ MOŽNOSTI VYUŽITÍ VÍRNÍKŮ V CIVILNÍM LETECTVÍ	51
6	ZÁVĚR	53
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	59
	SEZNAM TABULEK	61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Anglický výraz	Český výraz
SLI		Státní letecká inspekce
UL		Ultra lehké
LAA		Letecká amatérská asociace
UCL		Ústav civilního letectví
VŠD		Vysoká škola dopravní
VZLU		Výzkumný zkušební letecký ústav
PELD		Provoz a ekonomika letecké dopravy
n		Počet proměnných
x_i		Jednotlivé proměnné
\bar{x}		Průměrná hodnota proměnných
σ		Směrodatná odchylka
PIO	Pilot Induced Oscilation	Pilotem vyvolané oscilace
PPO	Power Push Over	Převrácení vyvolané tahem
HP	Horse Power	Koňská síla

ÚVOD

Vírník je atypický létající prostředek, jehož kořeny sahají až do roku 1923. Během své existence prošel zlatou érou, ale také úpadkem. Dnes existuje po celém světě spousta firem zabývajících se výrobou a prodejem motorových vírníků. I přes pestrou minulost a bohatý sortiment dnes nabízených vírníků, nejsou tyto stroje veřejnosti příliš známé. Většina nezasvěcených v principu funkčnosti příliš nedůvěřuje systému vyvozujícímu vztlak, jelikož se jedná o volný rotor, který je roztáčen pouze prouděním vzduchu kolem listu rotoru. Dnes jsou ovšem vírníky na velice vysoké úrovni z hlediska bezpečnosti, řiditelnosti, použitých materiálů a koncepce konstrukce.

Cíle práce

Cílem této práce je vytvořit přehled aktuálně vyráběných vírníků v Evropě a ve světě a zpracovat důležité technické parametry. Ze zjištěných údajů se následně statisticky zpracují základní parametry dvousedadlových vírníků. Dalším z cílů je zpracovat možnosti dalšího konstrukčního vývoje vírníků. Posledním z cílů je přezkoumat nové možnosti využití vírníků v civilním letectví. Veškeré vyhodnocené informace jsou uvedeny v závěru této práce.

1 HISTORIE LETADEL TYPU VÍRNÍK

Vírníky neboli autogyra měly v sobě ohromný potenciál a to do té doby než je nahradily vrtulníky disponující lepšími letovými vlastnostmi. Jednalo se o letadlo s rotující nosnou plochou, která se otáčela autorotací, aniž by byla motoricky poháněna. První vírník sestrojil roku 1923 Španěl Juan de la Cierva. Uskutečnil tak technický průlom, vedoucí k sestrojení prvního plně funkčního vrtulníku v roce 1938 v Berlíně. V lednu 1923 Cierva provedl svůj první úspěšný let s vírníkem nesoucím označení C. 4. Tento vírník byl vybaven pohonnou jednotkou pohánějící tažnou vrtulí. Od sestrojení prvního vírníku v roce 1923 se vírníky neustále zdokonalovaly a vyvíjely. Vírník se stal velice oblíbeným létajícím prostředkem. Zapálení vírníkoví nadšenci si dokonce stavěli jednoduché vírníkové konstrukce doma v garáži. Zpočátku se jednalo o vírníky bez vlastního pohonu. Tyto stroje musely být taženy auty či jinými dopravními prostředky. Za druhé světové války byly takto taženy ponorkami za účelem zvýšení dohlednosti a tudíž i bezpečnosti plavidel. Vírníky s vlastním pohonem byly opatřeny tlačnou nebo tažnou vrtulí. Tyto stroje byly schopny létat v malých výškách a z toho důvodu byly neviditelné pro radary té doby. Právě tyto letové vlastnosti se nezamlouvaly tehdejšímu politickému režimu ČSR, objevily se totiž pokusy o nízký přelet přes hranice státu. Vírníkům tedy neulehčovaly existenci vrtulníky ani politické zřízení. V roce 1968 došlo na letišti v Kunovicích k tragické nehodě, při níž zahynul zkušební pilot Puk. Po této nehodě skončil provoz amatérských vírníků v důsledku nařízení SLI. Koncem 90 let se vírníky opět objevily, neodpovídaly ale definici UL a z tohoto důvodu nemohly legálně létat. Dne 21. 1. 2000 se skupině majitelů vírníků zrodila v hlavách myšlenka založit Svaz vírníkového létání při LAA. Po pečlivém zpracování metodiky výcviku a návrhu předpisu o letové způsobilosti, získala LAA 4. 7. 2000 pověření UCL spravovat kategorii vírníkového létání. [1, 2]

První motorový vírník v ČSR byl postavený na katedře letecké dopravy VŠD v Žilině a zalétnutý zkušebním pilotem VZLU Ing. Duchoněm v roce 1968. Tento vírník byl pojmenován Vážka. Jednalo se o jednomotorový, jednomístný vírník poháněný motorem Walter Micron s tlačnou vrtulí. Na jeho projektování a stavbě se podíleli tehdejší posluchači katedry PELD, jmenovitě Tomáš Dendis (na obrázku 1.1 jako pilot), Pavel Klimt a Květoslav Topolnický. Z pedagogických pracovníků katedry se na vývoji tohoto vírníku podíleli Ing. Anton Slyško, Ing. Vladimír Tichavský a Ing. Josef Kříž. Na obrázku 1.1 je zobrazen vírník

Vážka s pilotem Tomášem Dendisem, nyní docentem VŠD Žilina. Z řad pracovníků Žiliny Ing. Duchoň zaškolil na tento vírník posluchače Tomáše Dendise.



Obr. 1.1 Vírník Vážka s pilotem Tomášem Dendisem



Obr. 1.2 Vírník Vážka (pohled zezadu)



Obr. 1.3 Vírník Vážka (pohled zepředu)

2 PŘEHLED AKTUÁLNĚ VYRÁBĚNÝCH VÍRNÍKŮ V EVROPĚ A VE SVĚTĚ

V současné době se vírníky vyrábějí po celém světě. Většina firem je soustředěna v Evropě. Ostatní firmy působí v USA, Austrálii, Novém Zélandu a Jihoafrické republice. V Evropě nalezneme společnosti jako Arrow copter GmbH (Rakousko), Rotortec (Německo), Celier Aviation (Polsko), Autogyro (Německo), ELA Aviation (Španělsko), Magni Gyro (Itálie) a Bauer Avion (Česká republika). Mnozí z nich jsou výrobci vyvážející své stroje do celého světa. Americkým výrobcem vírníků je společnost Groen Brothers Aviation. V Austrálii se výrobě gyroplánů věnuje společnost GT Gyroplanes. Novozélandskou firmou vyrábějící vírníky je UFO HeliThruster. V Jihoafrické republice se této činnosti věnují dokonce dvě společnosti, Chayair a RAF 2000.

2.1 Arrow copter GmbH

Arrow copter je rakouská firma vyrábějící vírník Arrow-Copter AC10.

2.1.1 Arrow-Copter AC10

Společnost věnovala čtyři roky vývoji, než dosáhla požadované úrovně. Arrow-Copter AC10 je uzavřený dvoumístný vírník vyrobený z kompozitních materiálů. Tyto materiály dvacátého prvního století se vyznačují vysokou pevností a nízkou hmotností. Právě na nich FD Composites GmbH spolupracovala s firmou Carbo Tech Composites. Rotor tvoří dva listy o celkové délce 8400 mm. Arrow-Copter AC10 může být vybaven motorem Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 UL Turbo (120 HP). Do budoucna chce firma rozšířit nabídku motorů o BMW Boxer R 1.2 (115 – 125 HP). Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven dvěma nádržemi o kapacitě 2x37 l. Motor pohání tlačnou vrtuli s dvěma listy. Arrow Copter AC10 je navržen pro dva cestující sedící za sebou. Pouze osoba sedící v přední části má přístup na řídicí páku, pedály a přístrojovou desku. Díky kompozitním materiálům činí prázdná hmotnost AC10 pouhých 261 kg. Maximální vzletová hmotnost je 600 kg. Minimální rychlost, kterou je AC10 schopno letět, je 30 km/h. Cestovní rychlost je 160 km/h a maximální rychlost 190 km/h. Pokud je vírník osazen motorem Rotax 912 ULS, činí jeho

spotřeba 20,8 l/h při cestovní rychlosti 160 km/h. Cena Arrow Copter AC10 v základu s motorem Rotax 912 ULS je € 94 990. [3, 4]



Obr. 2.1 Arrow-Copter AC10

2.2 Groen Brothers Aviation

Groen Brothers Aviation je americká společnost sídlící v Salt Lake City, Utah, USA. Společnost založil v roce 1986 David Groen, k němuž se později přidal jeho bratr Jay Groen. [5] Mezi produkty Groen Brothers Aviation patří Sparrowhawk III, Hawk4 a Hawk 5.

2.2.1 Sparrowhawk III

Sparrowhawk III je uzavřený dvoumístný vírník konstruovaný tak, že cestující sedí vedle sebe. Řízení je zdvojené, proto může pilotovat jak vlevo sedící tak vpravo sedící osoba. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o celkové délce 9144 mm. Pohonnou jednotkou je motor Subaru EJ25 (165 HP) pohánějící třílistou tlačnou vrtuli. Motor ke své činnosti potřebuje 95 oktanový bezolovnatý benzín. Vírník je vybaven nádrží o celkové kapacitě 87 l. Se spotřebou 24,6 l/h je Sparrowhawk III schopen uletět 363 km cestovní rychlostí, která dosahuje 121 km/h. Maximální rychlost, které lze dosáhnout, je 161 km/h. Prázdná hmotnost dosahuje 408 kg. Maximální vzletová hmotnost je pak 680 kg. Sparrowhawk III je schopen vystoupat do výšky 3048 m. Cena Sparrowhawk III je \$ 45 500, což je v přepočtu € 33 924. [6]



Obr. 2.2 Sparrowhawk III

2.2.2 Hawk 4 a Hawk 5

Hawk 4 je uzavřený čtyřmístný vírník, který byl v roce 2002 nedílnou součástí zajišťující bezpečnost na Zimních olympijských a paralympijských hrách v Salt Lake City. Hawk 5 je vylepšenou verzí Hawk 4. Dosáhlo se především zvýšení kapacity sedadel na 5 míst. Hawk 5 je také schopen vertikálního vzletu a přistání. Došlo také k výraznému navýšení užitečného zatížení, doletu a výdrži, zvýšila se také cestovní a maximální rychlost. [7]



Obr. 2.3 Hawk 4

2.3 Rotortec GmbH

Rotortec GmbH je německou společností vyrábějící vlníky Cloud Dancer I a Cloud Dancer II.

2.3.1 Cloud Dancer I

Cloud Dancer I je kompaktnější verzi pro jednoho cestujícího. Je vybaven dvoulistým rotorem Dragonwing o délce 7400 mm, motorem Göbler-Hirth 3503/E (70 HP) pohánějícím tlačnou třílistou vrtuli Helix o průměru 1600 mm. Prázdná hmotnost vlníku je pouhých 170 kg a maximální vzletová hmotnost je 300 kg. Minimální rychlost se pohybuje v rozmezí 25 – 35 km/h, optimální cestovní rychlost je 135 km/h a maximální rychlost je 180 km/h. Cloud Dancer I disponuje nádrží o objemu 45 l. Se spotřebou 13,5 l/h je stroj schopen uletět 470 km cestovní rychlostí. Cena Cloud Danceru I s dvouválcovým motorem Göbler-Hirth 3503/E (70 HP) je € 38 000, s tříválcovým motorem Göbler-Hirth 3503/E (84 HP) je € 39 500. [8]



Obr. 2.4 Cloud Dancer I

2.3.2 Cloud Dancer II

Větší verzi je Cloud Dancer II disponující dvěma místy k sezení. Cestující sedí vedle sebe, z nichž jednomu je umožněno pilotovat. Cloud Dancer II se může pyšnit tím, že je celosvětově prvním vlníkem se čtyřlistým rotorem. Průměr rotoru Dragonwing je díky

čtyřem listům menší, než je tomu u rotoru dvoulistých, dosahuje rozměrů 6700 mm. O pohon se stará motor Rotortec EC MPE (135 HP) pohánějící třílistou vrtuli Neuform o průměru 1800 mm. Vírník je vybaven palivovou nádrží o objemu 115 l. Díky spotřebě paliva 13,5 l/h je Cloud Dancer II schopen uletět minimálně 650 km až maximálně 815 km. Prázdná hmotnost autogyra je 245,9 kg – 265,9 kg. Maximální vzletová hmotnost je 560 kg. Minimální rychlost se pohybuje v rozmezí 25 – 35 km/h, optimální cestovní rychlost je 155 km/h a maximální rychlost dosahuje 190 km/h. Cena Cloud Danceru II s motorem Rotortec EC MPE je € 77 707. [9]



Obr. 2.5 Cloud Dancer II

2.4 Celier Aviation

Celier Aviation je Polskou společností vyrábějící vírníky Kiss a Xenon. Své produkty distribuují do celého světa.

2.4.1 Kiss

Autogyra Kiss společnost nabízí ve třech motorových variantách a to s motory Rotax 912 UL (80 HP), Rotax 912 S (100 HP) a Rotax 914 Turbo (115 HP).

Kiss 914 je vybaven motorem Rotax 914 Turbo (115 HP), který roztáčí tlačnou vrtuli DUC FC o průměru 1740 mm. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně

91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor Aircraft C.A. s průměrem 8800 mm. Vírník je určen pro dvě osoby sedící za sebou. Pilotovat může pouze osoba sedící v přední části kokpitu. Minimální rychlost, kterou je Kiss schopen letět, je 30 km/h, cestovní rychlost dosahuje 160 km/h a maximální rychlost je 185 km/h. Prázdná hmotnost je pouhých 230 kg a maximální vzletová hmotnost je 550 kg. Kiss 914 má nádrž na 50 l paliva. S tímto množstvím má výdrž 2,8 h. S volitelnými nádržemi je možno zvýšit výdrž až na 7 h. Dostup 914 je 6005 m. Cena Kiss 914 je stanovena na € 39 900. [10]



Obr. 2.6 KISS 914

2.4.2 Xenon

Autogyra Xenon jsou ve variantách Xenon 2 a Xenon 3.

Xenon 2 je dvoumístný vírník se zdvojeným řízením a uzavřenou kabinou. Vyrábí se ve verzi R Sport, RT a GIII. Xenon 2 R Sport je vybaven pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS (100 HP). Xenon 2 RT má silnější agregát a to Rotax 914 Turbo (115 HP). Xenon 2 GIII je třetí generací Xenonu a je tedy vrcholným produktem společnosti Celier Aviation. Xenon GIII byl postaven na základě Xenonu 2 RST. Disponuje pohonnou jednotkou Rotax 912/RST (122/125 HP), která pohání tlačnou vrtuli Kaspar 38L-VP. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor s průměrem 8600 mm. Nádrž pojme 85 l paliva, které vystačí na 4 hodiny letu. Se spotřebou 22 l/h by měl být teoretický dolet 550 km. Minimální rychlost je ve srovnání

s jinými vírníky poměrně vysoká a to 65 km/h. Cestovní rychlost se drží na hodnotě 130 km/h a maximální rychlost na 175 km/h. Prázdná hmotnost letounu je 275 kg a maximální vzletová hmotnost je 560 kg. Xenon 3 je verze pro 3 osoby. Je pouze o 15 cm delší než Xenon 2. Pilot sedí v přední části kokpitu uprostřed, zbylí dva cestující sedí po stranách za pilotem. Toto rozložení sedaček má velké výhody, a to především pro pilota. Pilot má kolem sebe dostatek prostoru a díky tomu, že sedí uprostřed kabiny, je řízení vírníku přesnější. Xenonu 3 přibýlo na každé straně jedno okno, což poskytuje pilotovi 300° výhled z kabiny. Tyto okna slouží především pro cestující, kterým je tak poskytnut perfektní výhled. Xenon 3 je vybaven motorem Rotax RST (135 HP) pohánějící tlačnou vrtuli Kaspar VP 3BL. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor Aircopter s průměrem 8800 mm. Maximální vzletová hmotnost je 600 kg. Prázdná hmotnost je rovná polovina a to 300 kg. Minimální rychlost je 65 km/h, cestovní pak 130 km/h. Nádrž má objem na 85 l paliva. Dolet činí 500 km cestovní rychlostí se spotřebou 22 l/h. [11]



Obr. 2.7 Xenon GIII

2.5 AutoGyro GmbH

AutoGyro GmbH je německá společnost zabývající se vývojem, produkcí a distribucí gyroplánů. Od svého založení roku 1999 se společnost neustále rozrůstá. V současnosti její tým tvoří více než 80 vysoce kvalifikovaných pracovníků a inženýrů. Společnost se snaží vytvořit globální distribuční síť s distributory v téměř 30 zemích. Mezi produkty společnosti AutoGyro patří MTOsport, Calidus a Cavalon. [12]

2.5.1 MTOsport

MTOsport, představeno na jaře 2008, je autogyro postaveno na základě modelu MT03. MTOsport je dvoumístný vírník s otevřenou kabinou, v němž jsou sedačky uspořádány za sebou. Na přední sedačce sedí pilot a na zadní spolucestující. Vztlak je vytvářen dvoulistým rotorem o délce 8440 mm. MTOsport může být vybaven pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 UL (115 HP). Tyto motory mohou pohánět vrtuli HTC 3 Blade nebo IVO Prop. Obě tyto tlačné vrtule mají tři listy o průměru 1720 mm. MTOsport je vybaveno 34 l palivovou nádrží. Po instalaci volitelné pomocné nádrže se objem zvětší na 68 l. Dolet na základní nádrž je 264 km. MTOsport je schopno vystoupat do výšky 3048 m. Minimální rychlost letu je 30 km/h, cestovní rychlost 160 km/h a maximální rychlost dosahuje 185 km/h. Při cestovní rychlosti je spotřeba paliva 18 l/h. Prázdná hmotnost letounu činí 247 kg a maximální vzletová hmotnost 450 kg. Cena MTO sport je € 33 915. [13]



Obr. 2.8 MTOsport

2.5.2 Calidus

Model Calidus se začal vyrábět v roce 2009. Má uzavřenou kabinu, a je tedy určen do podmínek s nestabilním nebo chladnějším počasím. Cestujícím nabízí samozřejmě také vyšší komfort. Kokpit je navržen pro dva cestující sedící za sebou. Řízení vírníku je umožněno vpředu i vzadu sedícímu cestujícímu. Vztlak vytváří dvoulistý rotor o průměru 8440 mm. Calidus může být vybaven pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 UL

(115 HP). Tyto motory mohou pohánět vrtuli HTC 3 Blade nebo IVO Prop. Obě tyto tlačné vrtule mají tři listy o průměru 1720 mm. Calidus je vybaven 39 l palivovou nádrží. Po instalaci volitelné pomocné nádrže se objem zvětší na 75 l. Calidus má větší dolet než MTOsport, na základní nádrž uletí 346 km. Dosah mají ale oba vírníky stejný, tedy 3048 m. Minimální rychlost letu je 30 km/h, cestovní rychlost 160 km/h a maximální rychlost dosahuje 185 km/h. Při cestovní rychlosti je spotřeba paliva 18 l/h. Prázdná hmotnost letounu činí 262 kg a maximální vzletová hmotnost 450 kg. Cena MTO sport je € 48 730. [14]



Obr. 2.9 Calidus

2.5.3 Cavalon

Cavalon je vrcholem produktové řady společnosti AutoGyro. Jedná se o dvoumístný uzavřený vírník s rozložením sedadel vedle sebe. Řízení je zdvojené. Vztlak vytváří dvoulistý rotor o průměru 8440 mm. Cavalon může být vybaven pohonnou jednotkou Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 UL (115 HP). Motor pohání třílistou tlačnou vrtuli. Cavalon je vybaven 100 l palivovou nádrží. Díky velkokapacitní nádrži má výdrž až 5 h. Cestovní rychlost je 145 km/h a maximální rychlost 160 km/h. Maximální vzletová hmotnost je 550 kg. Cena Cavalonu je € 62 475. [15]



Obr. 2.10 Cavalon

2.6 GT Gyroplanes Pty Ltd

GT Gyroplanes Pty Ltd je australská společnost, kterou založili v roce 2007 bratři Geoff a Alistair Morrisonovi. Oba bratři mají jasnou představu, co musí jejich vírník splňovat. Je to především bezpečnost, spolehlivost, snadná ovladatelnost a schopnost přistát na nezpevněném povrchu. Vírník musí mít uzavřenou kabinu, aby mohl létat za každého počasí. Musí mít ale také snadno odnímatelné dveře pro létání během parních letních dní. Sedadla musí být umístěná vedle sebe, aby byla zajištěna dvojí kontrola, snadná komunikace mezi cestujícími, vzájemná pomoc při navigaci a možnost sdílení řízení podle potřeby během letu. Vírník musí mít výdrž přibližně 4 hodiny při letu cestovní rychlostí. Uvnitř kabiny musí mít cestující dostatek prostoru a dobrý přístup. Sedadla musí být dostatečně pohodlná pro čtyřhodinový let. Palivové nádrže musí být od palubního prostoru odděleny ocelovou deskou. Tyto a mnohé další kritéria splňuje vírník Kruza. [16]

2.6.1 Kruza

Kruza je uzavřený dvoumístný vírník, konstruovaný tak, aby cestující seděli vedle sebe. Kruza má dvoulistý rotor o průměru 8839 mm od výrobce Petroney. Jako pohonná jednotka byl zvolen motor Suzuki G16B Turbo (165 HP). Motor roztáčí tlačnou třílistou vrtuli o průměru 1800 mm. Do palivové nádrže se vejde 120 l bezolovnatého benzínu nebo leteckého

benzínu 100 LL. S tímto objemem a spotřebou 22 l/h při cestovní rychlosti 130 km/h je možno uletět 709 km. Cestovní rychlost se pohybuje v rozmezí 111 km/h až 148 km/h. Maximální rychlost pak dosahuje 167 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 380 kg a maximální vzletová hmotnost je 600 kg. Cena Kruza je \$ 80 000 což je v přepočtu € 59 750. [17]



Obr. 2.11 Kruza

2.7 ELA Aviation Pty Ltd

Španělská společnost ELA Aviation se věnuje výrobě a údržbě vírníků od roku 1996. Vyrábějí dvoumístné autogyra ELA 07 a ELA 08. Vírníky španělského výrobce mají šasi vyrobeno z vysoko pevnostní nerezové oceli. Kabina a ocasní plochy jsou konstruovány z uhlíkových vláken a epoxidové pryskyřice. ELA 07 je vybavena čelním sklem chránícím vpředu sedícího cestujícího proti větru a chladu. Cestující na zadním sedadle tento štít nemá, ale má tak k dispozici více místa k manipulaci s kamerou nebo fotoaparátem. ELA 08 je větší a je vybavena dvěma skly chránícími vpředu i vzadu sedícího cestujícího. Poskytuje tak oběma větší pohodlí. [18]

2.7.1 ELA 07

ELA 07 R-100 je dvoumístný vírník s otevřeným kokpitem. Sedačky jsou umístěny za sebou. Řízení tohoto autogyra je umožněno pouze vpředu sedícímu cestujícímu. Vztlak zajišťuje dvoulístý rotor o průměru (odhad) 8500 mm. ELA 07 R-100 je vybavena motorem

Rotax 912 ULS (100 HP) pohánějícím tlačnou třílistou vrtuli. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 72 l. S tímto objemem paliva je ELA 07 schopna uletět 500 km. Při cestovní rychlosti se spotřeba pohybuje kolem 20 l/h. Minimální letová rychlost je 30 km/h, cestovní rychlost pak dosahuje hodnoty 140 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 237 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 550 kg. Cena vírníku ELA 07 R-100 dosahuje hodnoty € 52 273. [19]



Obr. 2.12 ELA 07

2.7.2 ELA 08

ELA 08 je dvoumístný vírník s otevřeným kokpitem. Sedačky jsou umístěny za sebou. Řízení tohoto autogyra je umožněno jak vpředu tak vzadu sedícímu cestujícímu. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru (odhad) 8500 mm. ELA 08 se nabízí ve dvou motorových variantách. Slabší verze s označením ELA 08 R-100 je vybavena motorem Rotax 912 ULS (100 HP). Silnější verze s označením ELA 08 R-115 je vybavena motorem Rotax 914 UL Turbo (115 HP). Motor pohání tlačnou třílistou vrtuli. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 72 l. S tímto objemem paliva je ELA 08 schopna uletět 500 km. Při cestovní rychlosti se spotřeba pohybuje kolem 21,6 l/h. Minimální letová rychlost je 30 km/h, cestovní

rychlost pak dosahuje hodnoty 150 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 244 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 550 kg. Cena vírníku ELA 07 R-100 dosahuje hodnoty € 64 679. [20]



Obr. 2.13 ELA 08

2.8 Chayair

Chayair je společnost založena v roce 1997 v Jihoafrické republice. Zabývá se výrobou vírníků Sycamore. Výrobní hala se nachází v Jihoafrické republice, v provincii Limpopo, ve městě Musina. Výrobní kapacity byly zpočátku stanoveny na jeden kus za šest týdnů. V současnosti jsou výrobní kapacity zdvojnásobené oproti počátkům, tedy jeden kus za tři týdny. Chayair své stroje vyváží také do Evropy, především do zemí jako Anglie, Španělsko, Nizozemí a Litva. [21]

2.8.1 Sycamore Mk1 su

Sycamore Mk1 su je dvoumístný vírník s uzavřenou kabinou, v němž sedí cestující za sebou. Řízení je umožněno pouze přednímu cestujícímu. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 9100 mm. Sycamore je nabízený ve dvou motorových variantách, Mk1 a Mk1 su. Mk1 pohání motor Rotax 914 turbo (115 HP) a Mk1 su pohání motor Subaru EJ 2.5 (160 HP). Motor pohání třílistou tlačnou vrtuli o průměru 1702 mm. Agregát ke své činnosti potřebuje 95 oktanový bezolovnatý benzín. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 55 l. S tímto objemem paliva je Sycamore Mk1 su schopen letět 2,5 h. Vírník je schopen dostoupat do výšky 3962 m. Při cestovní rychlosti se spotřeba pohybuje kolem 22 l/h. Cestovní rychlost

dosahuje hodnoty 130 km/h a maximální rychlost 184 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 400 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 620 kg. [22]



Obr. 2.14 Sycamore Mk1 su

2.8.2 Sycamore Mk2000 su

Sycamore Mk2000 su je dvoumístný vírník s otevřenou kabinou, v němž sedí cestující za sebou. Řízení je umožněno pouze přednímu cestujícímu. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 9100 mm. Sycamore je nabízený ve dvou motorových variantách, Mk2000 a Mk2000 su. Mk2000 pohání motor Rotax 914 turbo (115 HP) a Mk2000 su pohání motor Subaru EJ 2.5 (160 HP). Motor pohání třílistou tlačnou vrtuli o průměru 1702 mm. Agregát ke své činnosti potřebuje 95 oktanový bezolovnatý benzín. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 55 l. S tímto objemem paliva je Sycamore Mk1 su schopen letět 2,5 h. Vírník má dostup do výšky 3962 m. Při cestovní rychlosti se spotřeba pohybuje kolem 22 l/h. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 130 km/h a maximální rychlost 184 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 400 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 620 kg. [23]



Obr. 2.15 Sycamore Mk2000 su

2.9 Magni Gyro

Magni Gyro je Italská společnost, jejímž zakladatelem je Vittorio Magni. Společnost sídlí ve městě Besnate, v okrese Varese. Okres Varese je jedním z nejvýznamnějších leteckých center v Itálii. Toto strategicky výhodné místo poskytuje výhody jako například jednoduchost při hledání dodavatelů leteckých materiálů, nebo dostatek kvalifikovaných pracovníků a specializovaných firem. Díky těmto faktorům je firma schopna, v hale o rozloze 2000 m², vyrobit 6 vírníků za měsíc. Za rok je společnost schopna vyprodukovat 60 – 70 vírníků. Mezi produkty společnosti Magni Gyro patří M14 Scout, M16 Tandem Trainer, M22 Voyager a M24 Orion. [24]

2.9.1 M14 Scout

M14 Scout je kompaktní jednomístný otevřený vírník. Lze ho ale přizpůsobit tak, že si může hned za pilota sednout druhý cestující. Oba cestující sedí dostatečně blízko sebe, aby mohli mezi sebou komunikovat lící stranou. Kabina je ve spodní části rozšířená, aby měl druhý cestující dostatek prostoru pro nohy. Vztlak zajišťuje dvoulístý rotor o průměru 8230 mm, vyrobený z kompozitních materiálů firmou Magni Gyro. M14 Scout může být vybaven dvěma motory, Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 turbo (115 HP). Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli z uhlíkových vláken. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven 50 l palivovou nádrží, která je vyrobena z epoxidové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Díky tomuto množství paliva je M14 Scout schopen vydržet ve vzduchu přibližně 3 hodiny. Přibližná spotřeba je 17 l/h. [25]



Obr. 2.16 M14 Scout

2.9.2 M16 Tandem Trainer

M16 Tandem Trainer je dvoumístný vírník s otevřenou kabinou, v němž sedí cestující za sebou. Jak už z názvu vyplývá, vírník je vhodný pro výuku pilotáže. Řízení je zdvojené, pilotovat můžou tedy oba cestující. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 8534 mm, vyrobený z kompozitních materiálů firmou Magni Gyro. M16 Tandem Trainer může být vybaven dvěma motory, Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 turbo (115 HP). Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli z uhlíkových vláken. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven 72 l palivovou nádrží, která je vyrobena z epoxidové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Díky tomuto množství paliva je M16 Tandem Trainer schopen vydržet ve vzduchu přibližně 3,4 hodiny se spotřebou 21 l/h při cestovní rychlosti. M16 dokáže dostoupat do výšky 4000 m. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 150 km/h a maximální rychlost 185 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 270 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 550 kg. Cena vírníku M16 Tandem Trainer je € 64 867. [26, 27]



Obr. 2.17 M16 Tandem Trainer

2.9.3 M22 Voyager

Voyager neboli cestovatel vychází z modelu M16, oproti němu má větší palivovou nádrž a objem zavazadlového prostoru 150 l. Oba zavazadelníky jsou umístěny po stranách trupu, s jehož designem jsou dokonale sladěna. M22 Voyager je dvoumístný vírník s otevřenou kabinou, v němž sedí cestující za sebou. Řízení je umožněno pouze cestujícímu sedícímu na přední sedačce. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 8534 mm, vyrobený z kompozitních materiálů firmou Magni Gyro. M22 Voyager může být vybaven dvěma motory, Rotax 912 ULS (100 HP) nebo Rotax 914 turbo (115 HP). Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli z uhlíkových vláken. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven 80 l palivovou nádrží, která je vyrobena z epoxidové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Díky tomuto množství paliva je M22 Voyager schopen vydržet ve vzduchu přibližně 3,8 hodiny se spotřebou 21 l/h při cestovní rychlosti. M22 dokáže dostoupat do výšky 4000 m. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 150 km/h a maximální rychlost 185 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 270 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 550 kg. Cena vírníku M22 Voyager je € 66 049. [28, 29]



Obr. 2.18 M22 Voyager

2.9.4 M24 Orion

M24 Orion je dvoumístný vírník s uzavřenou kabinou, v němž sedí cestující vedle sebe. Řízení je umožněno pouze jednomu sedícímu. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 8534 mm, vyrobený z kompozitních materiálů firmou Magni Gyro. M22 Orion je vybaven motorem Rotax 914 turbo (115 HP). Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli z uhlíkových vláken. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník má nádrž o objemu 82 l, která je vyrobena z epoxidové pryskyřice vyztužené skelnými vlákny. Díky tomuto množství paliva je M24 Orion schopen vydržet ve vzduchu přibližně 3,5 hodiny se spotřebou 23,4 l/h při cestovní rychlosti. M24 dokáže dostoupat do výšky 4000 m. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 150 km/h a maximální rychlost 169 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 285 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 550 kg. Cena vírníku M24 Orion je € 76 849. [30, 31]



Obr. 2.19 M24 Orion

2.10 Rotary Air Force Marketing Inc

Společnost Rotary Air Force South Africa sahá svými kořeny až do roku 1943, kdy byla založena Bernardem J. Haselohem. Pan Haseloh se zpočátku věnoval konstruování a testování amatérských helikoptér. Uvědomil si ale, že systém pohonu rotoru je příliš složitý u stroje, který slouží k rekreačnímu létání. Proto se začal věnovat vírníkům, které jsou z konstrukčního hlediska mnohem jednodušší. V roce 1954 dokončil svůj první vírník. Během dalších 30 let se Bernard Haseloh věnoval vývoji, na jehož základě zavedl mnoho návrhů a konstrukčních inovací vztahujících se pro vírníky. V roce 1987 se firma přejmenovala na Rotary Air Force Marketing Inc. První vírník, který společnost vyrobila, byl jednomístný vírník RAF 1000. Ukázala se ale potřeba vírníku ve dvoumístném provedení. Proto byl v roce 1989 představen vírník RAF 2000. 2. dubna 2007 získala rodina Mocke marketingová a výrobní práva společnosti Rotary Air Force Marketing Inc. [32]

2.10.1 RAF 2000 GTX SE FI EJ25

RAF 2000 GTX SE FI EJ25 je dvoumístný vírník s uzavřenou kabinou, v němž sedí cestující vedle sebe. Řízení je zdvojené, takže řídit vírník může vlevo i vpravo sedící cestující. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 9140 mm vyrobený společností RAF. Rotor je vyroben z kompozitních materiálů, hliníku a pěnového jádra. RAF 2000 GTX SE FI je

nabízený ve dvou motorových variantách, EJ22 a EJ25. EJ22 pohání motor Subaru EJ2.2 (130 HP) a EJ25 pohání motor Subaru EJ2.5 (165 HP). Motor pohání ve verzi EJ22 třílistou tlačnou vrtuli o průměru 1727,2 mm od firmy Warpdrive. Ve verzi EJ25 pohání motor čtyřlistou tlačnou vrtuli o průměru 1676,4 mm také od firmy Warpdrive. Oba agregáty ke své činnosti potřebují 95 oktanový bezolovnatý benzín. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 113 l. S tímto objemem paliva je RAF 2000 GTX SE FI EJ25 schopen letět 3,8 h. Při 80% výkonu nebo 4200 ot./min se spotřeba pohybuje kolem 30 l/h. Minimální rychlost činí 32 km/h. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 145 km/h a maximální rychlost 161 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 367 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 698,54 kg. Cena vírníku RAF 2000 GTX SE FI EJ25 je € 43 197. [33]



Obr. 2.20 RAF 2000 GTX SE

2.11 Ultimate Flying Options

Novozélandská společnost Ultimate Flying Options vypracovala projekt UFO HeliThruster v roce 1991. Další dva roky trvalo, než se v roce 1993 postavily první prototypy schopné letu. První oficiální let se uskutečnil v prosinci 1997. [34]

2.11.1 UFO HeliThruster

HeliThruster je dvoumístný vírník s uzavřenou kabinou, v němž sedí cestující vedle sebe. Řízení je umožněno pouze jednomu sedícímu. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru

10058 mm vyrobený z hliníku. UFO HeliThruster je vybaven motorem Subaru EJ2.5 (165 HP), který pohání třílistou tlačnou vrtuli o průměru 1880 mm vyrobenou z kompozitních materiálů. Tento agregát ke své činnosti potřebuje 95 oktanový bezolovnatý benzín. Vírník je vybaven nádrží o kapacitě 100 l. S tímto objemem paliva je UFO HeliThruster schopen letět 6,5 h a uletět tak vzdálenost 960 km. Spotřeba se pohybuje kolem 15 l/h. UFO HeliThruster dokáže dostoupat do výšky 3048 m. Cestovní rychlost dosahuje hodnoty 161 km/h a maximální rychlost 193 km/h. Prázdná hmotnost vírníku je 432 kg. Maximální vzletová hmotnost činí 725 kg. Cena vírníku UFO HeliThruster je € 46 765. [35, 36]



Obr. 2.21 UFO HeliThruster

2.12 Bauer Avion

Česká firma Bauer Avion byla založena v roce 1991. Od svého založení se firma věnovala výrobě motorových rogal, jejichž vývojem a výrobou se zakladatel firmy zabýval od roku 1978. V roce 1996 firma upřela svůj zájem o ultralehké motorové vírníky. O dva roky později, v roce 1998, Bauer Avion představil svůj první prototyp s označením BAD 12. O další dva roky později, v roce 2000, byl vývoj tohoto vírníku ukončen a BAD 12 byl uveden na trh. V roce 2003 firma uvedla na trh uzavřenou verzi s označením BAD 12 cabin. [37]

2.12.1 BAD 12

BAD 12 Gyrotrainer je vírník s otevřenou kabinou, vyrábějící se v jednomístném a dvoumístném provedení. BAD 12 C (Cabine) je dvoumístný vírník s uzavřenou kabinou poskytující dostatečný komfort. Ve dvoumístné verzi jsou sedačky uspořádané za sebou. Řízení je zdvojené, BAD 12 je tedy vhodný také pro letecké školy. Vztlak zajišťuje dvoulistý rotor o průměru 8700 mm vyrobený z hliníku. BAD 12 Gyrotrainer se nabízí ve dvou standardních motorových variantách. Slabší verze je vybavena motorem Rotax 912 ULS (100 HP). Silnější verze je vybavena motorem Rotax 914 UL Turbo (115 HP). Motor roztáčí třílistou tlačnou vrtuli WARP DRIVE o průměru 1750 mm. Motory Rotax potřebují ke svému provozu minimálně 91 oktanový benzín nebo letecký benzín 100 LL. Vírník je vybaven palivovou nádrží o objemu 55 l. Výkonnější dvoumístná verze s motorem Rotax 914 Turbo je schopna, se spotřebou paliva 16 – 18 l/h, vydržet ve vzduchu 3 hodiny. BAD 12 Gyrotrainer je schopen vystoupat do výšky 3000 m. Minimální rychlost letu je 40 km/h, cestovní rychlost 140 km/h a maximální rychlost dosahuje 170 km/h. Prázdná hmotnost letounu činí 275 kg. Cena BAD 12 Gyrotrainer s motorem Rotax 914 UL Turbo je € 50 700. Cena BAD 12 C (Cabine) s motorem Rotax 914 UL Turbo je € 60 190. [38, 39, 40] V termínu zpracování mi nebyly údaje tohoto vírníků známy, proto není tento vírník zařazen do statistického zpracování.



Obr. 2.22 BAD 12 Gyrotrainer

3 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ DVOUSEDADLOVÝCH VÍRNÍKŮ

V této kapitole jsou zpracovány základní parametry aktuálně vyráběných dvousedadlových vírníků v podobě bodových grafů. Jako základní parametry jsem zvolil následující veličiny: plošné zatížení rotoru, výkon, cestovní rychlost, prázdná hmotnost a maximální vzletová hmotnost. Pro každou veličinu jsem spočetl aritmetický průměr a následně směrodatnou odchylku. Obě tyto hodnoty jsou uvedeny a zakresleny v grafech. Přes bod znázorňující průměr je vedena souvislá červená čára doplněná o patřičnou hodnotu. Aritmetický průměr jsem spočetl pomocí vzorce.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n – počet proměnných

x_i – jednotlivé proměnné

Směrodatnou odchylku jsem spočetl pomocí vzorce

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \bar{x}^2}$$

N – počet proměnných

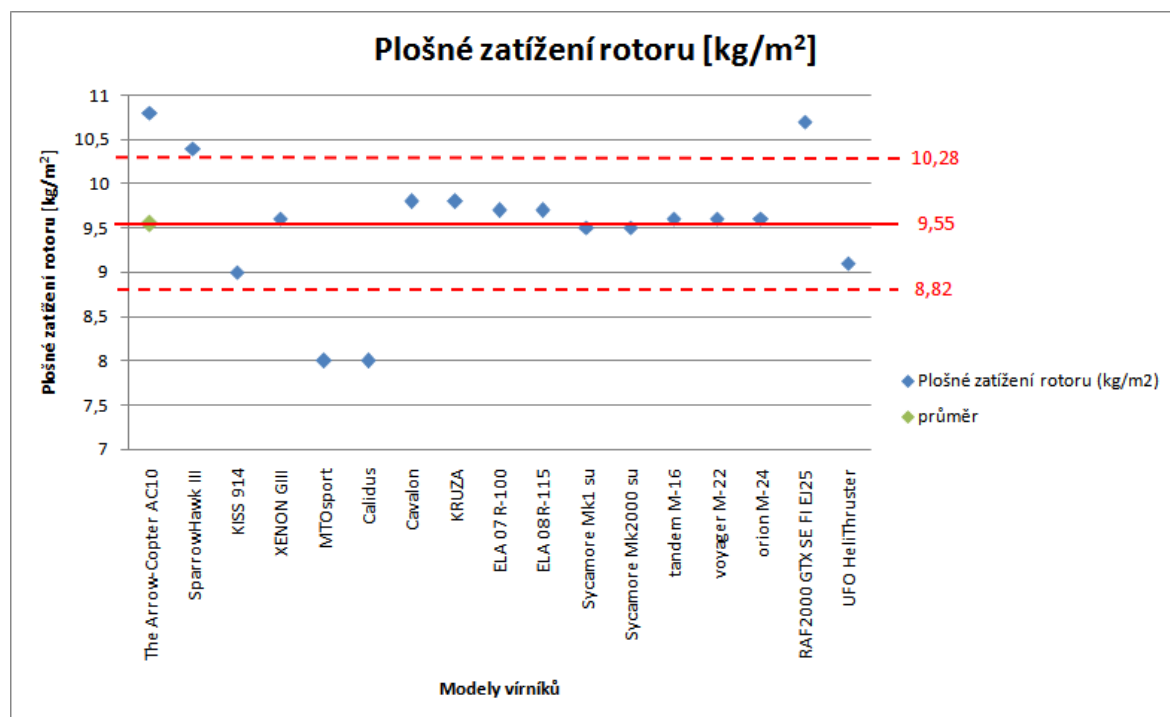
x_i – jednotlivé proměnné

\bar{x} – průměrná hodnota proměnných

a následně jsem ze získaných dat zakreslil odchylky čárkovanou červenou čarou doplněnou patřičnou hodnotou. V grafech se hodnoty jednotlivých vírníků pohybují kolem průměrné hodnoty nebo v rámci spočítaných odchylek. Vyskytují se v nich ale také vírníky s hodnotami mimo spočítané odchylky.

3.1 Plošné zatížení rotoru

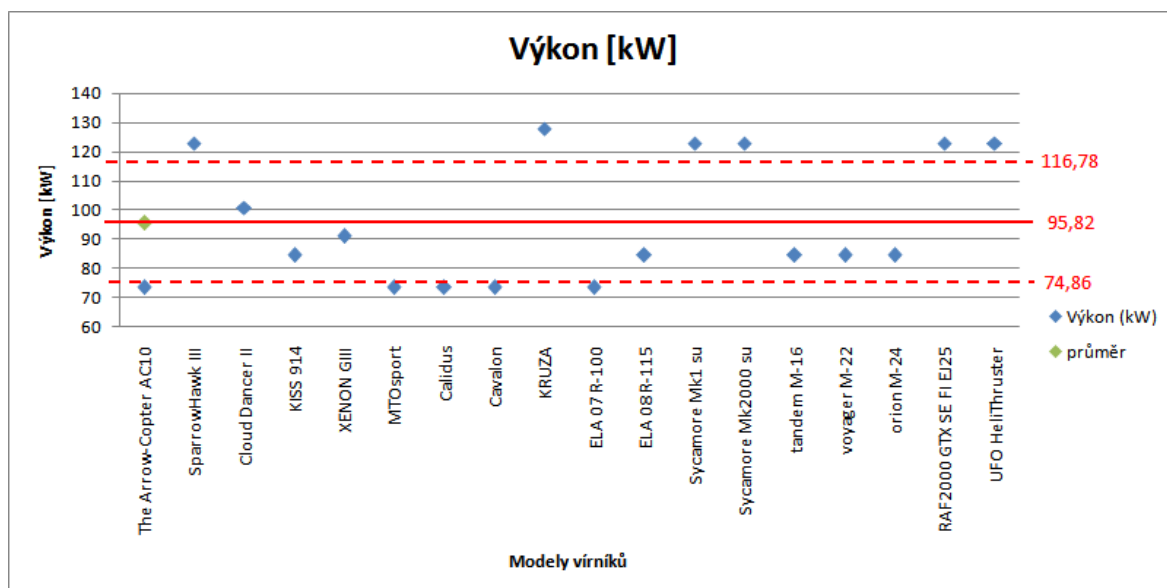
Plošné zatížení rotoru se spočítá jako poměr maximální vzletové hmotnosti a plochy rotoru. Jednotkou této veličiny je kg/m^2 . Ze statistiky vyplývá, že průměrné plošné zatížení rotoru je $9,55 \text{ kg/m}^2$. Většina vírníků má plošné zatížení rotoru v rozmezí od $8,82 \text{ kg/m}^2$ do $10,28 \text{ kg/m}^2$. Z této posloupnosti údajů byl vyňat vírník Cloud Dancer II z toho důvodu, že je vybaven atypickým – čtyřlístým rotorem.



Obr. 3.1 Plošné zatížení rotoru

3.2 Výkon

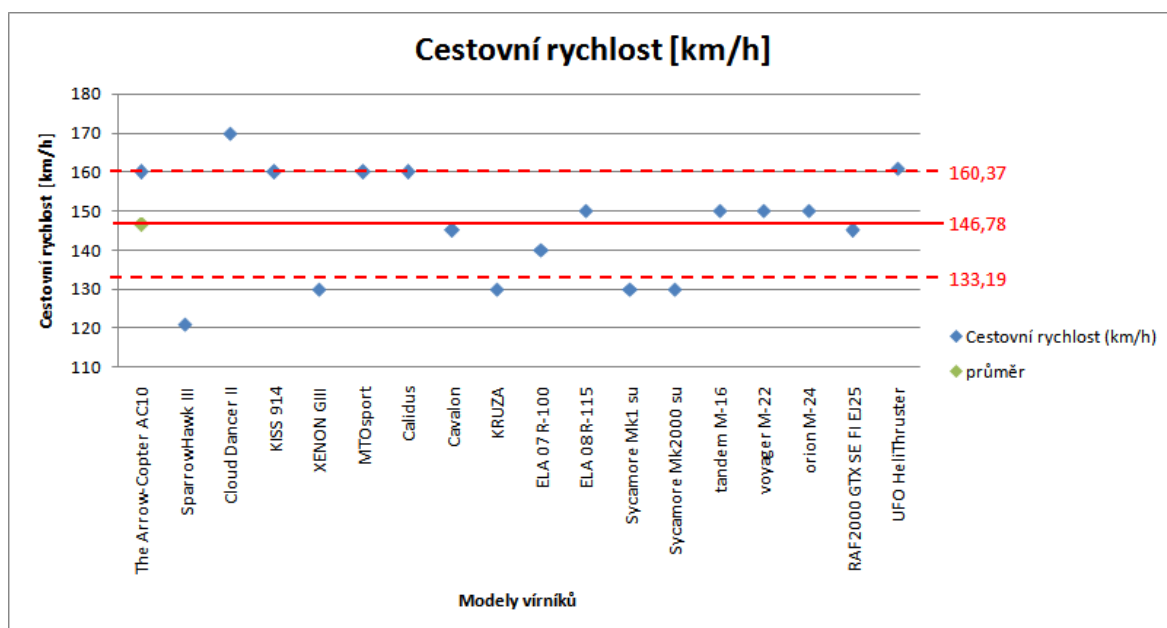
Výkony jednotlivých vírníků se liší v závislosti na použité pohonné jednotce. Nejpoužívanějšími pohonnými jednotkami jsou motory Rotax 912 ULS a Rotax 914 UL Turbo. Hojně jsou také využívány výkonné motory Subaru EJ22 a EJ25. Mezi agregáty nalezneme také motor Suzuki G16B Turbo, kterým je osazen vírník Kruza. Některé společnosti vyrábějící vírníky osazují své stroje vlastními motory, jedná se především o společnost Rotortec GmbH produkující motory Rotortec EC MPE. Ze statistiky vyplývá, že průměrný výkon je $95,82 \text{ kW}$. Většina vírníků disponuje výkonem v rozmezí od $74,86 \text{ kW}$ do $116,78 \text{ kW}$.



Obr. 3.2 Výkon

3.3 Cestovní rychlost

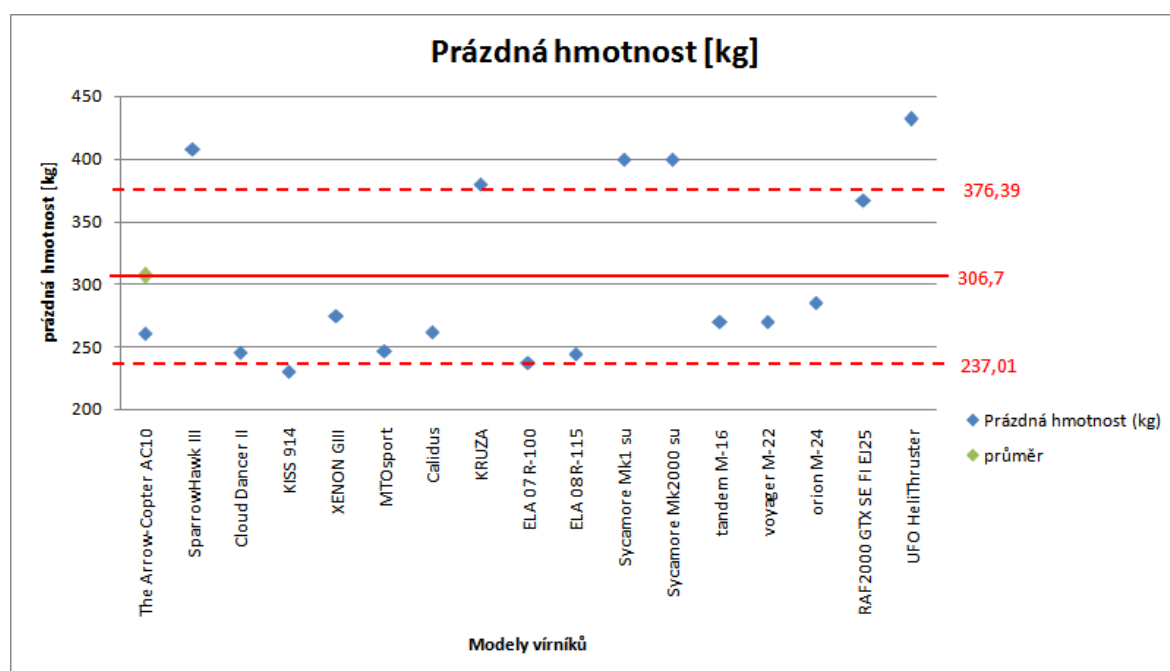
Vrtníky disponují širokým spektrem provozních rychlostí. Dokážou letět minimálními rychlostmi pohybujícími se kolem 30 km/h. Maximální rychlost, kterou jsou vrtníky schopné letu, dosahuje hodnot kolem 190 km/h. Ze statisticky zpracované cestovní rychlosti vyplývá, že průměrná cestovní rychlost je 146,78 km/h. U většiny vrtníků se tato rychlost pohybuje v rozmezí od 133,19 km/h do 160,37 km/h.



Obr. 3.3 Cestovní rychlost

3.4 Prázdná hmotnost

Prázdné hmotnosti vírníků se pohybují na značně nízkých hodnotách a to díky použitým kompozitním materiálům, kterými jsou především uhlíková vlákna. Důležitým faktorem ovlivňujícím hmotnost vírníku je zvolená pohonná jednotka. Z grafu na obrázku 3.4 je patrné, že vírníky SparrowHawk III, Kruza, Sycamore Mk1 su a Mk2000 su, RAF 2000 GTX SE FI EJ25 a UFO HeliThruster jsou výrazně těžší než jejich konkurenti. Všechny tyto vírníky jsou vybaveny motory Subaru a Suzuki. Na úkor hmotnosti jsou ale tyto vírníky znatelně výkonnější, což je patrné z grafu na obrázku 3.2 výše. Lehčí vírníky zahrnuté ve statistice jsou vybaveny motory Rotax. Ze statistiky vyplývá, že průměrná prázdná hmotnost je 306,7 kg. U většiny vírníků se tato hmotnost pohybuje v rozmezí od 237,01 kg do 376,39 kg.

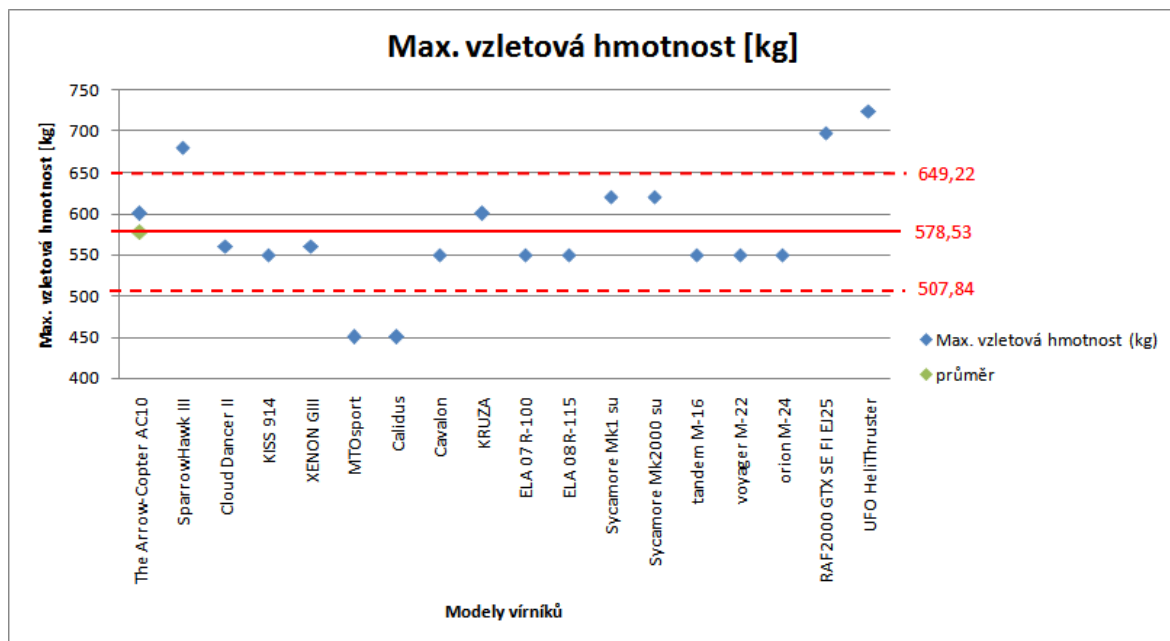


Obr. 3.4 Prázdná hmotnost

3.5 Max. vzletová hmotnost

Ze statistiky vyplývá, že průměrná maximální vzletová hmotnost vírníku je 578,53 kg. Tento parametr se u většiny vírníků pohybuje v rozmezí od 507,84 kg do 649,22 kg. Podle předpisu BCAR CAP643 Part 1 Requirements Sub-Section A General, se u vírníků kategorie UL připouští maximální vzletová hmotnost 600 kg. Tento požadavek nesplňují následující vírníky SparrowHawk III (680 kg), Sycamore Mk1 su (620 kg), Sycamore Mk2000 su (620

kg), RAF2000 GTX SE FI EJ25 (698,54 kg), UFO HeliThruster (725 kg). Příčina zvýšené hmotnosti spočívá pravděpodobně v použité pohonné jednotce a použitých materiálech při stavbě draku.



Obr. 3.5 Max. vzletová hmotnost

4 MOŽNOSTI DALŠÍHO KONSTRUKČNÍHO VÝVOJE VÍRNÍKŮ

Z hlediska koncepce se projektanti vírníků nemají o co opřít, jelikož jediný předpis týkající se motorových vírníků, který se nám podařilo zjistit, je předpis BCAR (British Civil Airworthiness Requirements) označený jako CAP 643, Section T Light Gyroplanes, vydaný 12. srpna 2005 (3. vydání).

V této souvislosti je důležité rozebrat vliv koncepce vírníků na jeho letové vlastnosti a to především z hlediska bezpečnosti letu. V literatuře [41] se uvádí, že vírníky nejsou bezpečné. Toto tvrzení je však pravdivé jenom z části, jelikož se netýká vírníků všeobecně, ale jen určitých koncepcí. Podrobně je tato problematika hodnocena v literatuře [42], ve které se uvádí, že pokud je zajištěna dostatečná míra podélné statické stability vírníku a je vhodně zvolena poloha tahu vůči těžišti vírníku, jedná se o takzvanou koncepci High Profil Gyro. Tato koncepce vírníku je z hlediska letových vlastností bezpečná. Vírník v koncepci High Profil Gyro je tedy bezpečný dopravní prostředek.

Předpis BCAR obsahuje nejen požadavky na letové a pozemní zatížení motorového vírníku, ale i požadavky na jejich letové vlastnosti (především stabilitu a řiditelnost). Ze studií souvisejících s tímto předpisem je v tomto ohledu možno zjistit velmi závažné informace, které jsou při projektování motorových vírníků naprosto nezbytné a jedině jejich respektování zajišťuje bezpečnost letu, tak například:

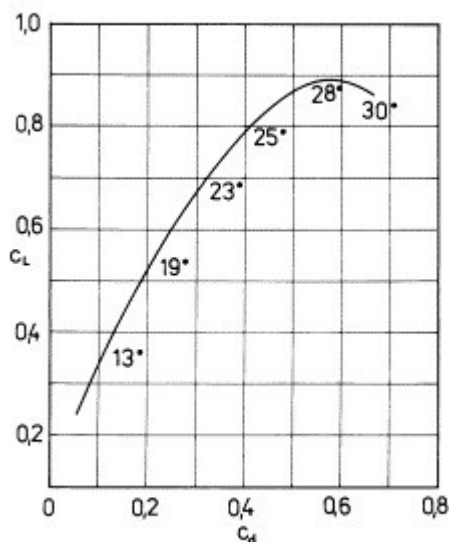
- z hlediska podélné stability musí být rotor umístěný a jeho výchylky zvoleny tak, aby se těžiště vírníku s určitou rezervou nacházelo vždy před vektorem odpovídajícím tahu rotoru.
- Z hlediska dynamiky vírníku, v případě vysazení motoru, je nezbytně nutné, aby tah pohonné jednotky působil pod těžištěm. Tato koncepce se v anglosaské literatuře nazývá High Profil Gyro.

Z hlediska dalších koncepčních znaků konstrukce vírníků, které ovšem z hlediska bezpečnosti letu nejsou tak důležité jako koncepční znaky uvedené výše, se domníváme, že pro danou hmotnostní kategorii je vhodné použít jednorotorovou koncepci, rotor dvoulístý. Z hlediska kompaktnosti celé konstrukce se jeví vhodné použít tlačné uspořádání pohonné

jednotky a klasický tříkolový podvozek s příďovým kolem. O umístění sedadel bude pravděpodobně rozhodovat to, zda se bude jednat o cvičnou (školní) verzi, nebo verzi pro běžný provoz. Pokud se jedná o cvičnou verzi, jeví se výhodnější uspořádání vedle sebe, kteréžto odpovídá klasické kabině dopravních letadel (kapitán, druhý pilot). Uspořádání sedadel za sebou má tu výhodu, že vede k menšímu odporu trupu vírníku.

Jak již bylo uvedeno výše, některé koncepce vírníků mohou být nebezpečné. Problémy doprovázející vírníky jsou následující.

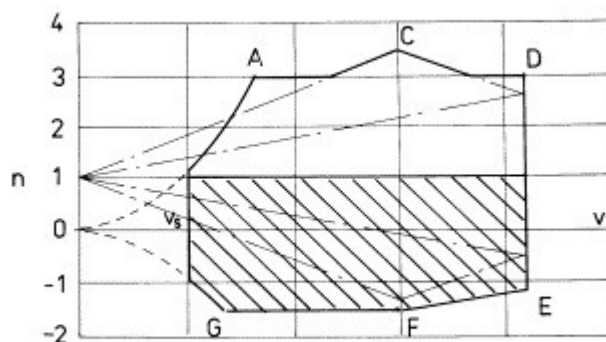
- Z poláry na obrázku 4.1 je patrné, že klouzavost vírníku je pouhých 3,5.



Obr. 4.1 Polára vírníku

Tato hodnota je srovnatelná s klouzavostí kluzáku standardní třídy pilotovaného vsedě. Malá letadla mají hodnotu klouzavosti kolem 8 - 16. U kluzáků a větroňů s pevnými křídly se tato hodnota pohybuje v rozmezí 18 - 40. Klouzavost 3,5 je tedy příliš nízká, z čehož vyplývá, že je vírník velmi neekonomický.

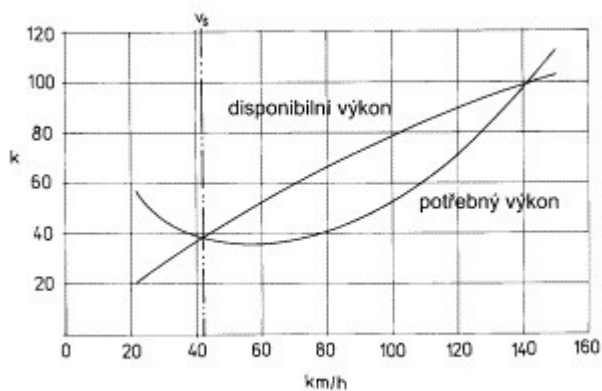
- Dalším problémem je letová obálka zatížení.



Obr 4.2 Letová obálka zatížení

Vírník není schopen dlouhodobému letu pod hranici násobku 1 g. Je-li vírník vystaven nulovému nebo dokonce zápornému letovému násobku, může mít pro něj tato skutečnost fatální následky. Do záporných násobků se nemusí pilot dostat pouze vlastní chybou, ale také vlivem turbulentního počasí. Pokud dojde k odlehčení rotoru, začne se okamžitě brzdit. Jestliže by rotor pokračoval ve svém vertikálním pohybu, došlo by k jeho střetu s vrtulí nebo ocasioními plochami a následné destrukci.

- Velice nebezpečný může být také let za hranicí disponibilního výkonu. Do této situace se může dostat pilot pouze vlastní chybou a to nejčastěji tak, že provede zatáčku po větru v malé výšce. Na obrázku 4.3 níže je znázorněn graf s typickým průběhem disponibilního a potřebného výkonu.



Obr. 4.3 Graf disponibilního a potřebného výkonu

Čerchovanou čarou je v grafu vyznačena minimální rychlost při vodorovném letu. U klasických letounů se průsečík těchto dvou křivek nachází pod hranicí pádové rychlosti. Vírníky mají minimální rychlosti letu mnohem nižší, průsečík se tedy nachází v místě čerchované čáry neboli minimální rychlosti letu. Při této rychlosti má vírník nedostatek výkonu a při klesání nemusí být schopen podrovnání. [41]

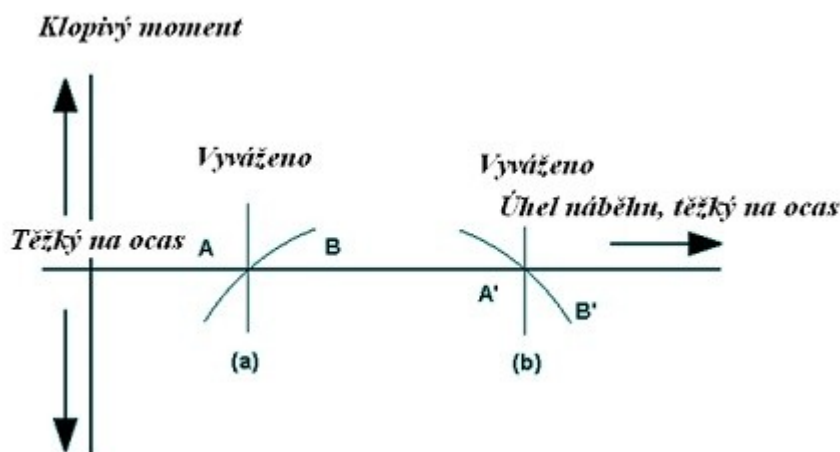
Jednou z kladných vlastností vírníků je ale to, že se vírník nemůže dostat do vývrtky.

Negativní parametry vírníků uvedené výše se tedy vztahují pouze na určité konstrukční koncepce. Pro bezpečné létání, je třeba, aby vírník splňoval následující důležitý požadavek. Tímto požadavkem je stabilita letu. Při studiu stability vycházíme ze silových a momentových rovnic popisujících ustálený pohyb letadla. Následně je vodorovný ustálený let nějakým vnějším zásahem porušen (výchylka řídicí páky, vertikální poryv) čímž vznikne takzvaný vybuzený pohyb. Z diferenciálních rovnic, které tento pohyb popisují, můžeme odvodit kritéria statické stability. Jelikož matematické zpracování otázek stability je poměrně složité, budeme se nadále pro zjednodušení zabývat ne stabilitou v celé šíři, ale pouze statickou stabilitou, která je velmi důležitá, jelikož splnění požadavku statické stability je nezbytnou součástí stability dynamické. Aby vírník byl stabilní, musí především splňovat podmínky statické stability. Statická stabilita se zabývá pouze hodnocením vlivů, které souvisí s geometrií (rozměry a tvary) a polohou těžiště letadla. Statická stabilita u vírníků vyžaduje správnou vzájemnou polohu mezi těžištěm a vektorem tahu rotoru. Podélný pohyb vírníku lze popsat podobně jako u letounů čtyřmi parametry, a to:

- rychlost nabíhajícího proudu vzduchu
- úhel náběhu
- úhel podélného sklonu
- úhlová rychlost klopivého pohybu

a rychlosti otáčení rotoru.

Při zkoumání statické stability je třeba brát ohled na každý z těchto parametrů. V našem případě se budeme zabývat pouze úhlem náběhu, protože je to parametr nejdůležitější. Na obrázku 4.4 je vyznačena závislost klopivého momentu na úhlu náběhu.



Obr. 4.4 Klopivý moment v závislosti na úhlu náběhu

Je známo, že rotor svírající kladný úhel náběhu vyvolává pohyb nosu nahoru. Vírník je tedy těžký na ocas. Z toho vyplývá, že moment působící ve směru, kdy jde nos nahoru (vírník je těžký na ocas), je kladným klopivým momentem. Aby byl let vyvážený, musí být celkový klopivý moment roven nule. Statická stabilita může být definována následovně: říkáme, že vírník je staticky stabilní dle úhlu náběhu, pokud vzniklé odchylky úhlu náběhu od vyvážené polohy vyvolají moment, který vrátí vírník do původní vyvážené polohy. V případě a) se bod A nachází ve vyváženém režimu. Pokud ale nastane porucha, kterou může být například vertikální poryv větru, úhel náběhu se zvětší do bodu B. Změna úhlu náběhu je doprovázena změnou klopivého momentu, který se již nerovná nule. Jelikož bod B neleží na ose x, nejedná se o vyvážený režim. Pokud je sklon křivky kladný, objeví se klopivý moment ve smyslu těžký na ocas, který dále zvýší úhel podélného sklonu vírníku a úhel náběhu. Příklad a) tedy odpovídá staticky nestabilnímu vírníku. Naopak v případě b) vírník bude stabilní, jelikož porucha, která způsobí zvýšení úhlu náběhu na bod B', vyvolá záporný klopivý moment, který zmenšuje úhel náběhu, dokud vírník nezaujme předcházející výchozí vyváženou polohu A'. Tudíž statická stabilita je závislá na sklonu křivky v bodě vyvážení, jinými slovy na derivaci momentu podle úhlu náběhu. Podmínka, která musí být pro staticky stabilní vírník splněna, zní: derivace klopivého momentu podle úhlu náběhu musí být záporná.

Kromě momentového vyvážení se budeme zabývat také silovým vyvážením. Na vírník působí především následující čtyři síly:

- tah vrtule

- vztlak a odpor ocasních ploch
- odpor trupu
- tah rotoru (vztlak a odpor)

Zdali příčná síla ovlivňuje stabilitu, zjistíme derivací příslušných klopivých momentů a zjistíme nejvhodnější polohu pro těžiště z hlediska stability. Aby byla zajištěna stabilita, musí být výsledná derivace záporná.

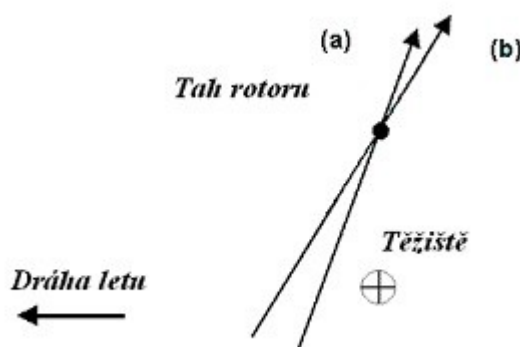
Vliv jednotlivých sil:

Tah vrtule – Tah vrtule je závislý především na rychlosti letu. Není příliš citlivý na změny úhlu náběhu. Je tedy teoreticky jedno jestli se bude těžiště nacházet pod, na, nad nebo za vrtulí. V každém z těchto případů bude mít těžiště nepodstatný vliv na velikost tahu.

Ocasní plochy – Vodorovné ocasní plochy se musí vždy nacházet v zadní části letounu. Pokud se působiště vzlaku vodorovných ocasních ploch nachází za těžištěm, derivace klopivého momentu dosahuje záporných hodnot. Stupeň podélné statické stability se pomocí vodorovných ocasních ploch pouze zvyšuje. Čím je vyšší vztlak VOP a jejich klopivý moment, tím je účinnost vodorovných ocasních ploch větší. Vyššího klopivého momentu lze dosáhnout tak, že vodorovné ocasní plochy umístíme co nejdále za těžištěm. Abychom vyvodili větší vztlak, je třeba zvolit vodorovné ocasní plochy s větší plochou a vhodného profilu. Vztlak také závisí na rychlosti nabíhajícího proudu vzduchu. Proto by se měly vodorovné ocasní plochy umístit do úplavu vrtule, kde je rychlost proudícího vzduchu větší, než mimo něj. Toto umístění by se mělo aplikovat zvláště u vírníků, které létají poměrně nízkými rychlostmi a jejichž tlačná vrtule vyvozuje značné zrychlení vzduchu. Svislé ocasní plochy nijak neovlivňují podélnou stabilitu vírníku.

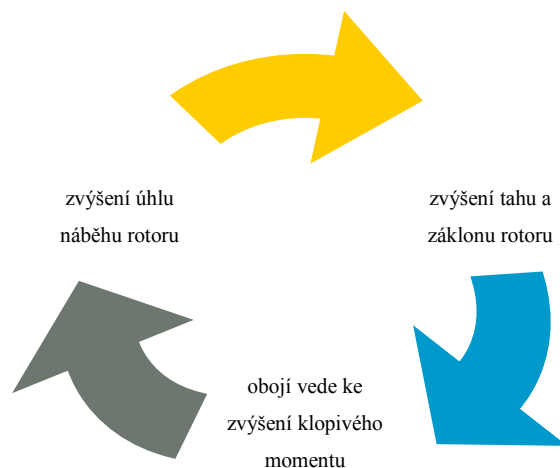
Odpor trupu – Odpor trupu je silou aerodynamickou. Aby byla derivace záporná, musí se působiště vzlaku trupu nacházet před těžištěm. Najít ale působiště vzlaku je velice složité, jelikož ovlivňujícím faktorem je úhel náběhu. Po provedení mnoha experimentů bylo zjištěno, že derivace má s ohledem na úhel náběhu tendenci ke kladným hodnotám. Vliv rozložení odporu trupu tedy nenapomáhá ke zvýšení stability. Tuto skutečnost kompenzujeme ale tím, že vírník vybavíme vodorovnými ocasními plochami se záporným úhlem náběhu. Při zvyšování rychlosti se vztlak působící ve směru před' nahoru zvyšuje.

Tah rotoru – Toto je klíčová otázka, jelikož hlavní rozdíl mezi různými návrhy vírníků vyplývá z rozdílného horizontálního umístění tahu rotoru a těžiště. Tento fenomén, který se v západní literatuře jmenuje „instability of the rotor relative to the angle of attack“ je dobře znám ze světa vrtulníků. Pro detailnější vysvětlení jsou uvedeny dva případy. V prvním případě je těžiště umístěno za vektorem působení tahu rotoru, v druhém případě je těžiště umístěno před vektorem působení tahu rotoru. Na obrázku 4.5 je vykreslena situace, kdy se těžiště nachází za vektory tahu rotoru.

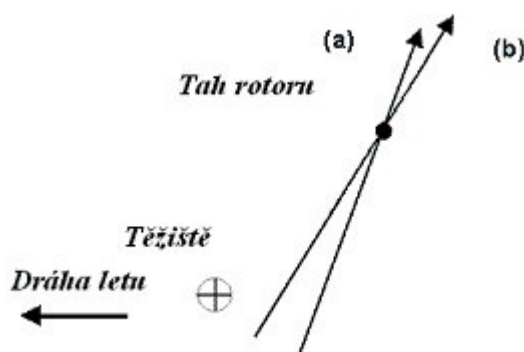


Obr. 4.5 Tah rotoru, těžiště za čarou tahu rotoru

Vektor (a) odpovídá tahu rotoru během vyváženého letu. Pokud by na vírník zapůsobil kladný vertikální poryv, zvýšil by tak úhel náběhu rotoru. Zvýšením úhlu náběhu by následně došlo ke zvýšení tahu rotoru. Dojde také ke zvýšení rozdílu mezi tahem nastupujícího a odstupujícího listu rotoru, následkem toho dojde ke zvětšení úhlu vzmachu rotoru. Tah rotoru se poté zakloní dozadu. Zvýšení úhlu náběhu rotoru, zvýšení tahu rotoru a zaklonění rotoru vedou ke zvýšení klopivého momentu. Tento moment napomáhá opětovnému zvýšení úhlu náběhu. Na obrázku 4.5 je poloha vektoru tahu po poryvu označena jako vektor (b). Došlo k oddálení vektoru od těžiště z čehož lze vydedukovat, že se jedná o nestabilní konfiguraci. Pokud je tedy těžiště za vektorem tahu rotoru, působí klopivý moment vyvolaný rotorem ve smyslu těžký na ocas (derivace podle úhlu náběhu je kladná).

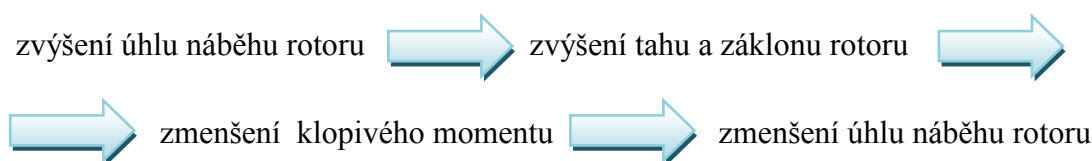


Na obrázku 4.6 je vykreslena situace, kdy se těžiště nachází před vektory tahu rotoru.



Obr. 4.6 Tah rotoru, těžiště před čarou tahu rotoru

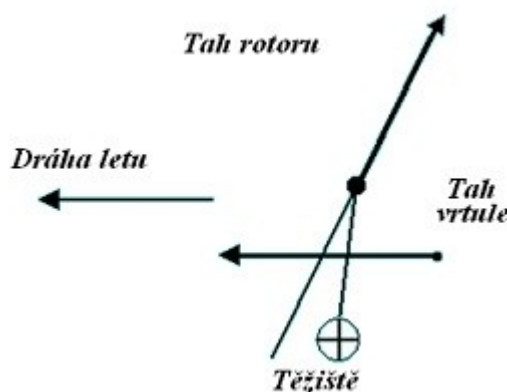
V tomto případě působí klopivý moment vyvolaný rotorem ve smyslu těžký na hlavu. Pokud v důsledku poryvu dojde ke zvětšení úhlu náběhu, bude reakce rotoru stejná jako v předchozím případě. Opět tedy dojde ke zvýšení tahu rotoru a k jeho naklonění dozadu. Zvýšení tahu povede ke zvětšení absolutní hodnoty momentu (moment větší ve smyslu těžký na nos). Je-li moment záporný, ještě více se zmenší – bude ještě zápornější. Záklon rotoru zmenší rameno tahu vzhledem k těžišti (viz Obr. 4.6). Tím se zmenší absolutní hodnota klopivého momentu. V tomto případě tyto dva fenomény nepůsobí shodně, avšak jak je znázorněno, změny tahu jsou převažující. A tak v tomto případě zvýšení úhlu náběhu vede ke zmenšení klopivého momentu, jeho derivace má tudíž záporné znaménko a tato konfigurace je tedy stabilní.



Pokud je tedy těžiště před vektorem tahu rotoru, působí klopivý moment vyvolaný rotorem ve smyslu těžký na nos (derivace podle úhlu náběhu je záporná). Navíc platí, že stabilita se zvyšuje při zmenšování klopivého momentu.

Při navrhování vírníků je možno se řídit dvěma koncepcemi, kterými jsou Low profile gyro a High profile gyro. Realizace požadavků, týkajících se vzájemné polohy těžiště a čáry tahu rotoru vyplývají z podmínek možnosti vyvážení vírníku za letu (má se na mysli vyvážení z hlediska momentové a silové rovnováhy, ne z hlediska sil na řídicí páce). Nyní pro jednoduchost předpokládejme, že vírník nemá vodorovné ocasní plochy, a že klopivý moment, který vyvolává odpor trupu je zanedbatelný. Tudíž na vírník působí pouze dvě síly – tah vrtule a tah rotoru.

Na obrázku 4.7 je znázorněna koncepce Low profile gyro. Těžiště je umístěno pod čarou tahu motoru.

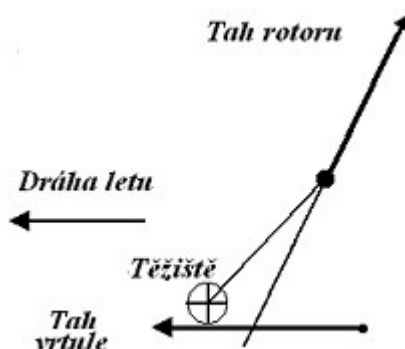


Obr. 4.7 Vírník typu Low profile

Z obrázku vyplývá, že motor vytváří klopivý moment těžký na hlavu. Z obrázku taktéž vyplývá, že v tomto případě, aby vírník byl v rovnováze (je z hlediska silové a momentové rovnováhy vyvážen) musí rotor vytvářet klopivý moment ve smyslu těžký na ocas. Těžiště se

nachází za průsečíkem čáry tahu rotoru s čarou působení tahu motoru. Vírník je v tomto případě nestabilní podle úhlu náběhu.

Na obrázku 4.8 je znázorněna koncepce High profile gyro. Těžiště je umístěno nad čarou tahu motoru.



Obr. 4.8 Vírník typu High profile

Motor v tomto případě vytváří moment ve smyslu těžký na ocas a tah rotoru tudíž musí vyvozovat moment opačný – těžký na hlavu. Těžiště musí být nejen nad čarou tahu motoru, ale i před průsečíkem s čarou tahu rotoru.

Jediná možná konfigurace, z hlediska podélné stability, je koncepce High profile gyro. Na rozdíl od vírníku Low Profil Gyro vírníky koncepce High Profil Gyro mají dobrou reakci na změny tahu vrtule. Zvýšení tahu vyvolá zvýšení klopivého momentu ve smyslu těžký na ocas, podélný sklon vírníku se zvýší, což je reakce, kterou očekáváme, pokud si přejeme zvýšit výšku. Podobně uvažujme v případě, kdy dojde ke snížení tahu vrtule.

Pokud dojde k vysazení motoru, je chování koncepce Low Profil Gyro a High Profil Gyro značně rozdílné. Pokud dojde k vysazení motoru u koncepce Low Profile Gyro, je potřeba knipl ihned potlačit, aby bylo zabráněno snížení rychlosti a aby bylo dosaženo poklesu přídě vírníku. U vírníku koncepce High Profile Gyro vede vysazení motoru k poklesu přídě vírníku. V tomto případě nemusí pilot dělat nic. Jediným úkolem je udržet řízení (vyvážení).

Koncepce High Profile Gyro je výhodná jak z hlediska statické stability, tak i z hlediska chování vírníku při vysazení motoru.

Dalšími jevy souvisejícími s koncepcemi vírníků jsou PIO a PPO. PIO (Pilot Induced Oscillation) neboli pilotem vyvolané oscilace a PPO (Power Push Over) neboli převrácení vyvolané tahem (výkonem motoru).

PIO - Pilot nese část zodpovědnosti, jelikož on oscilace zesiluje. Za oscilace jsou ale ve skutečnosti více zodpovědné charakteristiky stability vírníku. Vírník koncepce High Profile Gyro se stabilizátorem je méně náchylný k PIO než vírníky jiné koncepce. Strojů náchylných k PIO je poměrně mnoho, ale tyto stroje lze zcela dobře pilotovat po dostačujícím výcviku.

PPO – Tento jev se může objevit nečekaně (náhle), když je let prováděn v poryvových podmínkách. Skutečnost, že se tento jev objevuje bez varování, z něj dělá velmi nebezpečný.

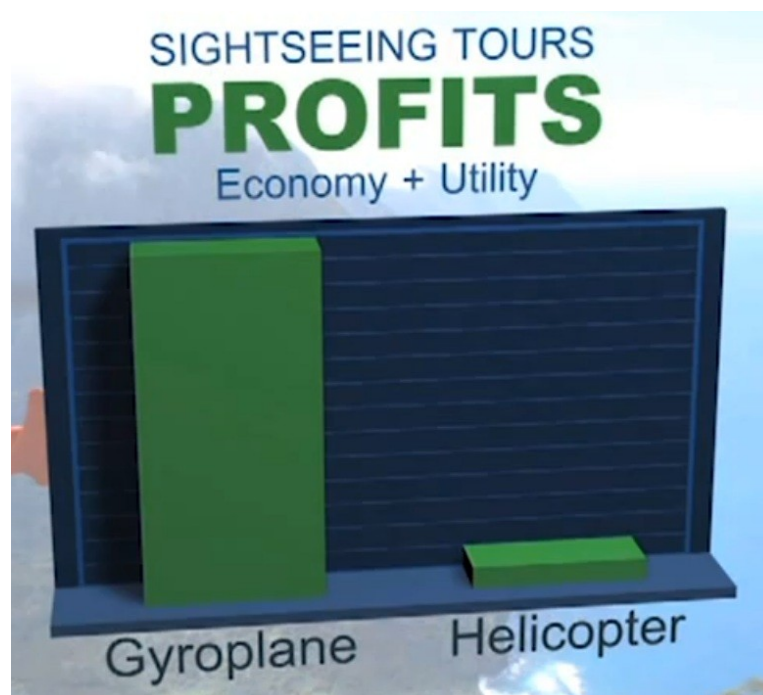
Low Profile Gyro se stabilizátorem požadovaných parametrů nepatří sice k nejlepším řešením, není ale tím nejhorším. **High Profile Gyro se stabilizátorem vhodných parametrů nabízí nejlepší výsledky: jsou málo náchylné k PIO a PPO není až tak podstatné.** [42]

5 NOVÉ MOŽNOSTI VYUŽITÍ VÍRNÍKŮ V CIVILNÍM LETECTVÍ

Vírník jako takový nemá příliš vhodné aerodynamické vlastnosti v porovnání s jinými létajícími prostředky. Z tohoto důvodu jsou náklady spojené s udržením vírníku ve vodorovném letu danou rychlostí a v dané výšce vyšší, než tomu bude u jiných letadel. Z pohledu celkových provozních nákladů však situace vypadá tak, že tyto náklady jsou pro vírníky podstatně nižší. Tento rozdíl je zapříčiněný tím, že konstrukční a výrobní složitost jakož i obsluha a údržba vírníků je v porovnání například s vrtulníky podstatně jednodušší, s čímž souvisí i mnohonásobně nižší provozní náklady. Jak ukazuje obrázek 5.1 a obrázek 5.2, náklady na osobomíli respektive zisk jsou u vírníku výhodnější než u vrtulníku. Údaje z obrázku 5.1 a 5.2 jsou převzaty ze studie společnosti Groen Brothers Aviation.



Obr. 5.1 Porovnání nákladů na osobomíli mezi vírníkem a vrtulníkem



Obr. 5.2 Zisky z hlediska ekonomičnosti a užitečnosti v porovnání mezi vírníkem a vrtulníkem

Kromě využití ve sportovním létání jsou vírníky vhodné také k využití v policejních složkách k monitorování dopravy nebo v pátracích akcích. V roce 2002 byl vírník, konkrétně Hawk 4, nedílnou součástí zajišťující bezpečnost na Zimních olympijských a paralympijských hrách v Salt Lake City. Vírník by své uplatnění našel také v armádních složkách. Vírník především ocení filmaři při natáčení dokumentárních filmů nebo fotografové pořizující letecké snímky. Vírník je možné také použít v zemědělství nebo lesnictví k chemickému postřiku.

Do budoucna jsou navrhovány projekty zaměřené na hasičskou činnost, nákladní dopravu nebo přepravu většího počtu osob.

Zcela specifickým vírníkem je PAL-V. Jedná se o produkt nizozemské společnosti PAL-V, který v sobě kombinuje prvky automobilu a vírníku. Tento stroj svým provedením nabízí zcela nové možnosti využití vírníků. Pokud vlastníte řidičský průkaz skupiny B a licenci rekreačního pilota (RPL) nebo licenci soukromého pilota (PPL), nebude Vaší hranicí silnice ani nebe.

6 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem vypracoval přehled aktuálně vyráběných vírníků v Evropě a ve světě. Ze získaných údajů jsem následně statisticky zpracoval: plošné zatížení rotoru, výkon, cestovní rychlost, prázdnou hmotnost a maximální vzletovou hmotnost. Pro každou veličinu jsem spočítal aritmetický průměr a následně směrodatnou odchylku. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky jednotlivých parametrů dvousedadlového motorového vírníku jsou uvedeny v tabulce 6.1.

	průměr	směrodatná odchylka
Plošné zatížení rotoru [kg/m ²]	9,9	± 0,73
Výkon [kW]	95,8	± 20,96
Cestovní rychlost [km/h]	146,8	± 13,59
Prázdná hmotnost [kg]	306,7	± 69,69
Max. vzletová hmotnost [kg]	578,5	± 70,69

Tab. 6.1 Průměry a směrodatné odchylky vybraných parametrů

Při navrhování vírníků je z konstrukčního hlediska nejvhodnější koncepce High Profile Gyro. Tato koncepce představuje vhodnou konfiguraci především z hlediska bezpečnosti letu. Vírníky koncepce High Profil Gyro mají také dobrou reakci na změny tahu vrtule, jelikož vysazení motoru u koncepce High Profile Gyro vede k poklesu přídě vírníku. Pilot v takovém případě nemusí dělat nic. Jediným úkolem je udržet řízení (vyvážení). Koncepce High Profile Gyro je výhodná jak z hlediska statické stability, tak i z hlediska chování vírníku při vysazení motoru. High Profile Gyro se stabilizátorem vhodných parametrů nabízí nejlepší výsledky: jsou málo náchylné k PIO a PPO není až tak podstatné.

Při technice pilotáže si je třeba uvědomit, že se jedná o gyroskop skládající se ze dvou částí a to z rotoru a draku, přičemž tyto dvě konstrukční části jsou propojeny systémem řízení. Do řízení je tedy třeba zasahovat pomalu a opatrně. Během letu má vírník s pravotočivým

rotorem tendenci stáčet se doleva. Zatočení vlevo je tedy snazší. Pokud se jedná o vírník s levotočivým rotorem, je reakce opačná, vírník má tendenci stáčet doprava, čili i zatáčení vpravo je snazší. [43]

Z hlediska pořizovacích a provozních nákladů, je vírník mnohem levnější, než konkurenční vrtulník. Tato skutečnost je zapříčiněna především jednodušší konstrukcí, výrobou, obsluhou a údržbou.

V dnešní době se vírníky využívají především k rekreačnímu a kondičnímu létání. Díky svým nízkým pořizovacím a provozním nákladům, mohou vírníky najít uplatnění v policejních složkách nebo v zemědělství.

Cíle bakalářské práce stanovené zadáním byly v plném rozsahu splněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Virníky, gyroplány a gyroglidery v Česku* [Online]. 2008, [Citace: 1. 3. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.vrtulnik.cz/gyro/gyro.htm>
- [2] *Juan de la Cierva* [Online]. 1. 4. 2012, [Citace: 1. 4. 2012] Dostupný z WWW: http://en.wikipedia.org/wiki/Juan_de_la_Cierva
- [3] *Arrow-copter AC10* [Online]. [Citace: 21. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.arrow-copter.com/technical-details_en.html
- [4] *Arrow-copter AC10, Arrow copter GmbH*, 2010 (pdf), [Citace: 21. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.arrow-copter.com/downloads_en.html
- [5] *About GBA* [Online]. [Citace: 22. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.groenbros.com/aboutgba.php>
- [6] *SparrowHawk III* [Online]. [Citace: 22. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.americanautogyro.com/sparrowhawkIII.html>
- [7] *Hawk 5* [Online]. [Citace: 22. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.groenbros.com/hawk5.php>
- [8] *Cloud Dancer I* [Online]. 2010, [Citace: 22. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.rotortec.com/technische%20daten%20cloud%20dancer%201.htm>
- [9] *Cloud Dancer II* [Online]. 2010, [Citace: 22. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.rotortec.com/technische%20daten%20cloud%20dancer%202.htm>
- [10] *Kiss 914* [Online]. [Citace: 23. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.celieraviation.eu/view/171-kiss-914.html>
- [11] *Xenon GIII, CELIER Aviation*, 2011 (pdf)
- [12] *Über uns* [Online]. 2012, [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.auto-gyro.com/Unternehmen/Ueber-uns/>
- [13] *MTOsport, AutoGyro GmbH*, 2011 (pdf), [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.auto-gyro.com/en/MTOsport/>

- [14] *Calidus, AutoGyro GmbH*, 2011 (pdf), [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.auto-gyro.com/en/Calidus/>
- [15] *Cavalon* [Online]. 2012, [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.auto-gyro.com/en/Cavalon/>
- [16] *ABOUT US - GT Gyroplanes* [Online]. 2011, [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.gtgyroplanes.com.au/about.html>
- [17] *Kruza, GT Gyroplanes Pty Ltd*, 2011 (pdf), [Citace: 26. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.gtgyroplanes.com.au/images/brochure.pdf>
- [18] *ELA Aviacion, Spain* [Online]. 2007, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.elaaviation.com.au/info.html>
- [19] *ELA-07 Specifications* [Online]. 2007, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.elaaviation.com.au/product-07.html>
- [20] *ELA-08 Specifications* [Online]. 2007, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.elaaviation.com.au/product-08.html>
- [21] *About Chayair* [Online]. 2011, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.chayaireurope.com/about.htm>
- [22] *Sycamore Mk1* [Online]. 2007, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.chayaireurope.com/sales_mk1specs.htm
- [23] *Sycamore Mk2000* [Online]. 2007, [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.chayaireurope.com/sales_mk2000specs.htm
- [24] *About us* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.it/inglese/chi.htm>
- [25] *Scout M14* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.it/inglese/scout.htm>
- [26] *Tandem Trainer M16* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.it/inglese/tandem.htm>

- [27] *Tandem Trainer M16* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.com/models/m16.html>
- [28] *Voyager M22* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.it/inglese/voyager.htm>
- [29] *Voyager M22* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.com/models/m22.html>
- [30] *Orion M24* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.it/inglese/Orion.htm>
- [31] *Orion M24* [Online]. [Citace: 27. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.magnigyro.com/models/m24.html>
- [32] *The Rotary Air Force RAF 2000* [Online]. [Citace: 12. 4. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.gyroplanepassion.com/RAF2000.html>
- [33] *RAF 2000 Specifications* [Online]. 2012, [Citace: 28. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.rafgyro.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=146&Itemid=125
- [34] *The History of the UFO-HeliThruster* [Online]. [Citace: 28. 2. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.ufo-helithruster.com/index.html>
- [35] *SPECIFICATION - UFO-HeliThruster* [Online]. [Citace: 28. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.ufo-helithruster.com/specifications_ufo_helithruster_gyrocopter.html
- [36] *UFO Performance & Specifications* [Online]. [Citace: 28. 2. 2012] Dostupný z WWW: http://www.ufo-helithruster.com/performance_ufo_helithruster_gyrocopter.html
- [37] *O nás* [Online]. 2012, [Citace: 1. 5. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.baueravion.cz/>
- [38] *Virníky BAD 12* [Online]. 2012, [Citace: 1. 5. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.baueravion.cz/virniky-bad12/>

- [39] *BAD 12 Gyrotrainer* [Online]. 2012, [Citace: 1. 5. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.baueravion.cz/virniky-bad12/bad-12-gyrotrainer/>
- [40] *Prodej* [Online]. 2012, [Citace: 1. 5. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.baueravion.cz/prodej/>
- [41] DOBIÁŠ, P. *Vírníky bez pozlátka* [Online]. [Citace: 10. 4. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.vrtulnik.cz/gyro/gyro3.htm>
- [42] FOURCADE, J. *Longitudinal Stability of Gyroplanes* [Online]. [Citace: 10. 4. 2012] Dostupný z WWW: http://www.asra.org.au/L_Stability.htm
- [43] BERANEK, L. *Konstrukce* [Online]. 2005, [Citace: 11. 4. 2012] Dostupný z WWW: <http://www.virnik.wz.cz/konstrukce.htm>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Vírník Vážka s pilotem Tomášem Dendisem	12
Obr. 1.2	Vírník Vážka (pohled zezadu)	12
Obr. 1.3	Vírník Vážka (pohled zepředu)	12
Obr. 2.1	Arrow-Copter AC10	14
Obr. 2.2	Sparrowhawk III	15
Obr. 2.3	Hawk 4	15
Obr. 2.4	Cloud Dancer I	16
Obr. 2.5	Cloud Dancer II	17
Obr. 2.6	KISS 914	18
Obr. 2.7	Xenon GIII	19
Obr. 2.8	MTOsport	20
Obr. 2.9	Calidus	21
Obr. 2.10	Cavalon	22
Obr. 2.11	Kruza	23
Obr. 2.12	ELA 07	24
Obr. 2.13	ELA 08	25
Obr. 2.14	Sycamore Mk1 su	26
Obr. 2.15	Sycamore Mk2000 su	27
Obr. 2.16	M14 Scout	28
Obr. 2.17	M16 Tandem Trainer	29

Obr. 2.18 M22 Voyager	30
Obr. 2.19 M24 Orion	31
Obr. 2.20 RAF 2000 GTX SE	32
Obr. 2.21 UFO HeliThruster	33
Obr. 2.22 BAD 12 Gyrotrainer	34
Obr. 3.1 Plošné zatížení rotoru	36
Obr. 3.2 Výkon	37
Obr. 3.3 Cestovní rychlost	37
Obr. 3.4 Prázdná hmotnost	38
Obr. 3.5 Max. vzletová hmotnost	39
Obr. 4.1 Polára vírníku	41
Obr. 4.2 Letová obálka zatížení	42
Obr. 4.3 Graf disponibilního a potřebného výkonu	42
Obr. 4.4 Klopivý moment v závislosti na úhlu náběhu	44
Obr. 4.5 Tah rotoru, těžiště za čarou tahu rotoru	46
Obr. 4.6 Tah rotoru, těžiště před čarou tahu rotoru	47
Obr. 4.7 Vírník typu Low profile	48
Obr. 4.8 Vírník typu High profile	49
Obr. 5.1 Porovnání nákladů na osobomíli mezi vírníkem a vrtulníkem	51
Obr. 5.2 Zisky z hlediska ekonomičnosti a užitečnosti v porovnání mezi vírníkem a vrtulníkem	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1 Průměry a směrodatné odchylky vybraných parametrů

53